

· 宝玉石矿物学 ·

云南麻栗坡祖母绿的矿物包裹体特征研究

姜雪^{1,2}, 余晓艳¹, 郭碧君¹, 徐 鋈¹

(1. 中国地质大学(北京)珠宝学院, 北京 100083; 2. 国标(北京)检验认证有限公司, 北京 101407)

摘要: 采用偏光显微镜薄片观察、电子探针及背散射图像、阴极发光等方法, 分别对伟晶岩矿脉和顺层剪切带矿脉两种产出状态的云南麻栗坡祖母绿进行了系统的包裹体特征研究。结果表明, 云南麻栗坡祖母绿具有产地特征的包裹体有黑色镁电气石、含钒的白云母、具有环带的钾长石、毒砂、镁质黑云母、白钨矿包裹体。伟晶岩脉和顺层剪切带中的祖母绿均含有钾长石、钠长石、电气石、萤石、祖母绿(绿柱石)、黑云母、榍石、磷灰石、黄铁矿、绿泥石、绿帘石包裹体。白云母、方解石、石英、锆石、毒砂、闪锌矿、方铅矿、透辉石仅出现在伟晶岩脉中的祖母绿包裹体中; 而白钨矿仅出现在顺层剪切带中的祖母绿包裹体中。对云南不同产状祖母绿矿物包裹体的研究不仅对祖母绿的产地鉴定具有宝石学意义, 也对揭示云南麻栗坡祖母绿的成因类型具有重要意义。

关键词: 祖母绿; 矿物包裹体; 云南麻栗坡; 电子探针

中图分类号: P578.953

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)02-0279-08

A study of mineral inclusions in emeralds from Malipo, Yunnan Province, China

JIANG Xue^{1,2}, YU Xiao-yan¹, GUO Bi-jun¹ and XU Chun¹

(1. Jewelry Institute, China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. Guobiao(Beijing) Testing & Certification Co., Ltd., Beijing 101407, China)

Abstract: In this research, mineral inclusions in emeralds from Malipo, Yunnan Province, are studied by polarized microscope, electron probe(EPMA), and cathodoluminescence(CL). The results show that there are several kinds of mineral inclusions which can be considered as origin characteristics in emeralds from Malipo, Yunnan Province, such as black dravite, vanadium muscovite, zonal feldspar, arsenopyrite, magnesium biotite, scheelite. Both in pegmatite veins and shear zone veins, emeralds contain feldspar, albite, dravite, fluorite, emerald (beryl), biotite, sphene, apatite, pyrite, chlorite, epidote. Inclusions only appear in emeralds from pegmatite veins are muscovite, calcite, quartz, zircon, arsenopyrite, sphalerite, galena, diopside. Inclusion only appears in emeralds from shear zone veins is scheelite. This research on different inclusions in emeralds from pegmatite veins and shear zone veins is meaningful not only for emerald identification of origin, but also reveals the genetic type of Yunnan emeralds.

Key words: emerald; mineral inclusions; Malipo area of Yunnan Province; electron probe(EPMA)

Fund support: China Geological Survey Project(2-5-2014-40)

祖母绿是含铬和(或)钒的浅至深绿色、蓝绿色、黄绿色的绿柱石。祖母绿不仅是四大高档宝石之一, 在地质学上也具有重要的研究价值。祖母绿中

包裹体对确定祖母绿的成矿地质条件、成因、类型具有重要意义。祖母绿包裹体研究可为鉴别祖母绿的产地和宝石鉴定提供依据。

收稿日期: 2018-05-20; 接受日期: 2018-10-08; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 中国地质调查项目(2-5-2014-40)

作者简介: 姜雪(1991-), 女, 硕士, 工程师; 通讯作者: 余晓艳(1964-), 女, 教授, 主要从事宝石学相关的教学与研究工作, E-mail: yuxy@cugb.edu.cn

云南省麻栗坡祖母绿宝石矿位于麻栗坡县城以南约 25 km 处,是国内首例具有一定经济意义的祖母绿矿床(冯明刚等,2000)。近年,国内外学者对云南祖母绿及其包裹体的研究表明,云南祖母绿是典型的高钒型祖母绿(郑育宇,2017),其中出现的颜色环带多样(姜雪,2015)。祖母绿中所含的黑云母、黑色电气石、斜长石、毒砂等矿物包裹体组合具有重要的标型意义(李强,2001)。其中的多相流体包裹体、细小片状黑云母、显微针状黑色电气石、微晶状不透明金属矿物包裹体及微裂隙群是导致祖母绿透明度低的主要缘由(李强,2001)。云南祖母绿中含锐钛矿型的 TiO_2 包裹体(祖恩东等,1999)。

按构造的空间展布方式,云南麻栗坡祖母绿赋矿构造可分为两类:一类为 NNE 向和 NE 向张剪裂隙构造,已发现的伟晶岩脉体共 30 余条,是主要的含矿构造;另一类是顺面理发育的次级韧性剪切滑脱带内发育的矿脉(胡荣荣,2008)(下文简称为:顺层剪切带矿脉)。前人对云南祖母绿包裹体的研究较为抽象,未区分产状。本文在野外工作的基础上,对伟晶岩矿脉和顺层剪切带矿脉两种产出状态的云南麻栗坡祖母绿分别进行了系统的包裹体特征研究。不同产状的祖母绿中不同的包裹体组合、包裹

体成分分析等研究不仅可为祖母绿的产地鉴定提供依据,具有宝石学意义,也对揭示云南麻栗坡祖母绿的成因类型具有重要意义。

1 样品及测试方法

本文选用包裹体特征明显的样品 15 块:伟晶岩矿脉样品 JD7、JD8、JD11、JD12、FZ13、FZ15、FZ17、HD5;顺层剪切带矿脉样品 JD14、FZ1、FZ3、FZ4、FZ5、FZ8、FZ14。典型样品图片如图 1 所示。样品特征如表 1 所示。

将样品切磨成薄片,置于偏光显微镜下观察,所用仪器为中国地质大学(北京)珠宝学院宝石研究实验室 OLYMPUS-BX51 偏光显微镜。

云南祖母绿中裂隙、色带发育,影响了其透明度,大多数包裹体在显微镜下不容易观察和识别。因此,本文采用偏光显微镜、电子探针及背散射图像、阴极发光等对其包裹体进行系统研究。

阴极发光仪器为中国地质大学(北京)珠宝学院 RELION III CL 型阴极发光仪,仪器生产厂家为美国 RELION,测试条件为电压 5 ~ 6 kV,电流 0.3 ~ 0.6 mA,曝光时间 10 ~ 30 s。

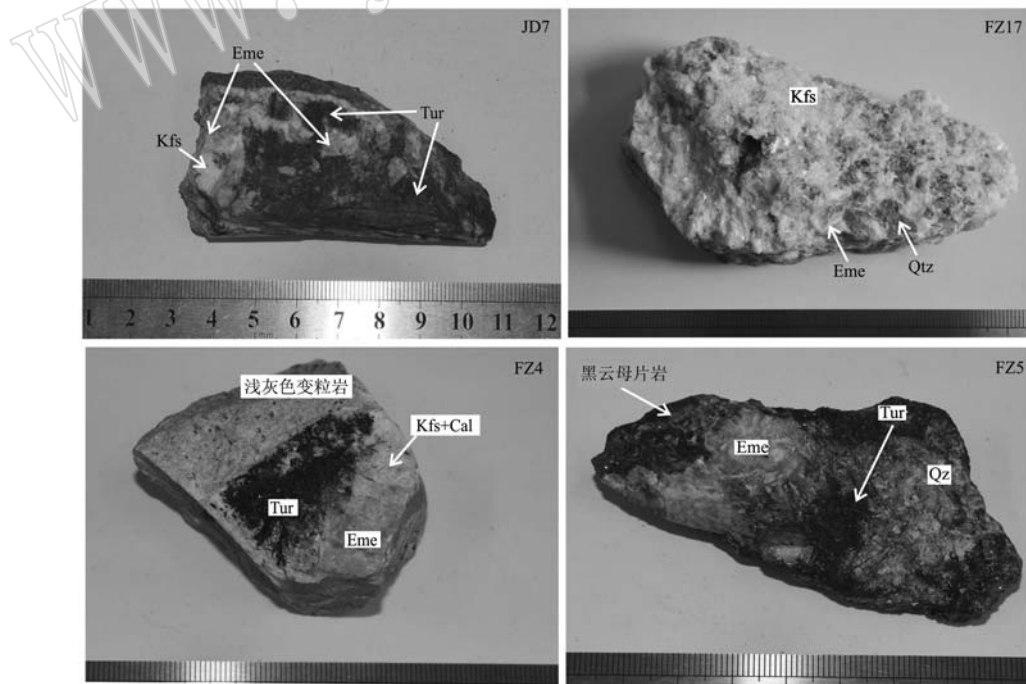


图 1 图 1 JD7、FZ17、FZ4、FZ5 号样品图片[图中标注的矿物名称缩写除祖母绿为 Eme 外,其余参见沈其韩(2009),下同]

Fig. 1 Photos of sample JD7, FZ17, FZ4 and FZ5 [the mineral abbreviations in photo are according to Shen Qihan(2009), except Eme for emerald, the same blow]

表 1 云南麻栗坡祖母绿样品特征
Table 1 Characteristics of emerald samples from Malipo, Yunnan Province, China

| 产状 | 样品编号 | 矿脉、围岩描述 | 祖母绿描述 |
|-------|---------|--|---------------------------------|
| 伟晶岩矿脉 | JD7 | 钾长石脉。钾长石为主, 石英呈破碎脉状分布, 祖母绿位于大量针状黑色电气石集合体中。 | 祖母绿呈柱状单晶, 粒度差异较大, 颜色鲜艳, 可见颜色环带。 |
| | JD8 | 长石脉。围岩是浅灰色变粒岩。脉中钾长石、斜长石粒度均匀, 含量近似。 | 祖母绿自形程度较低。 |
| | JD11 | 长英脉。围岩是灰色变粒岩。石英脉含少量绿色白云母、钾长石。 | 祖母绿呈集合体, 颜色较浅。 |
| | JD12 | 石英脉。绿色细粒片状白云母呈脉状分布于石英脉中。 | 祖母绿呈较小的单晶体。 |
| | FZ13 | 长英脉。分布规律: 石英脉-云母带-钾长石带-祖母绿带。少量大片黑云母呈放射状分布。含少量斜长石, 磷灰石大量分布于各矿物中; 含方解石、毒砂。 | 祖母绿粒度较大, 发育环带。 |
| | FZ15 | 长英脉。围岩是浅灰色变粒岩。 | 祖母绿颜色较浅, 集合体。 |
| | FZ17 | 长英脉。石英呈块状; 含少量白云母、萤石。 | 祖母绿粒度较大, 无明显晶形。 |
| | HD5 | 长石脉。 | 祖母绿晶体呈长柱状, 粒度较大, 颜色较好。 |
| | 顺层剪切带矿脉 | JD14 | 祖母绿直接与围岩接触。围岩是灰色变粒岩。 |
| FZ1 | | 围岩是灰黑色云母片岩。钾长石、萤石脉穿插祖母绿晶体。 | 祖母绿以集合体形式存在。 |
| FZ3 | | 斜长石脉。围岩是云母片岩。电气石存在于斜长石脉与祖母绿脉交界处。萤石、黄铁矿脉状分布。 | 祖母绿颜色浅, 自形程度差。 |
| FZ4 | | 围岩是浅灰色变粒岩。钾长石-方解石脉。含电气石、萤石。 | 祖母绿呈柱状集合体。 |
| FZ5 | | 围岩是黑云母片岩。石英、斜长石呈他形, 粒度较大; 电气石晶形完整, 大量分布于围岩与矿脉交界处, 含大颗粒毒砂。含萤石、磷灰石、方解石。 | 祖母绿晶形不完整。 |
| FZ8 | | 围岩是灰色变粒岩。祖母绿与长石不均匀分布。 | 祖母绿粒度不一, 颜色较浅。 |
| FZ14 | | 围岩是灰色变粒岩。祖母绿直接与围岩接触。电气石呈细小柱状分布。 | 祖母绿单晶体粒度较大。 |

电子探针测试在中国地质科学院矿产资源研究所矿物学与微束分析实验室完成, 采用 JXA-8230 型电子探针能谱仪。测试条件为: 定量加速电压 15 kV; 束斑直径 5 μm , 工作电流 20 mA, 标准样品为天然矿物或合成氧化物的国家标准。

2 测试结果与讨论

2.1 长石

钾长石是本区主要的伟晶岩矿脉组成矿物。祖母绿中的钾长石包裹体常见环带, 阴极发光下钾长石环带呈中等橙红或橙黄-蓝紫色发光, 环带内核 Ba 含量高处为蓝紫色, 边部为橙黄色(图 2)。斜长石成分是钠长石, 是伟晶岩矿脉组成矿物(图 3d)。长石成分分析见表 2。

FZ17 号祖母绿中包裹板状钾长石(点 FZ-17b-2-2), 发育格子双晶(图 3a、3b)。FZ15 号祖母绿中含钾长石(点 FZ-15a-3-2)、斜长石(点 FZ-15a-3-3)。钾长石边缘破碎, 受后期强烈地质作用影响, 有的呈

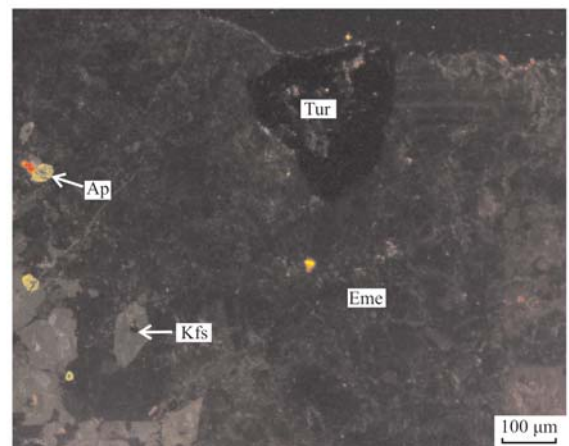


图 2 样品 FZ14 祖母绿中的包裹体阴极发光照片
Fig. 2 CL photo of emerald inclusions in sample FZ14

脉状分布于祖母绿中(图 3c)。斜长石呈脉状(图 3d)。

JD8 号祖母绿中含钾长石(点 JD-8-3-2 ~ 5)、钠长石(点 JD-8-3-7)。钾长石包裹体可见 3 层环带(图 3e)。FZ13 号祖母绿中包裹钾长石(3 层环带)

表2 长石的电子探针结果

$w_B/\%$

Table 2 Electron microprobe result of feldspar

| 点号 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | BaO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Total | 矿物名称 |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|------------------|--------|------|
| 11-a-Q3-2 | 51.102 | 0.066 | 21.777 | 0.027 | 0 | - | 13.525 | 0.019 | 0.903 | 9.355 | 99.77 | 钾长石 |
| 11-a-Q3-3 | 56.996 | 0 | 20.774 | 0.046 | 0.018 | - | 10.082 | 0.025 | 0.921 | 10.782 | 99.64 | |
| FZ-13-2-2 | 54.600 | 0.048 | 22.116 | 0 | 0.038 | - | 13.678 | 0 | 0.747 | 9.405 | 100.63 | |
| FZ-13-2-3 | 60.399 | 0.019 | 20.703 | 0.042 | 0 | - | 7.177 | 0 | 0.731 | 11.699 | 100.77 | |
| FZ-13-2-4 | 63.323 | 0.028 | 19.048 | 0 | 0 | - | 3.055 | 0 | 1.126 | 13.953 | 100.53 | |
| FZ-15a-3-2 | 64.695 | 0 | 18.558 | 0.044 | 0.021 | - | 0.769 | 0.019 | 0.662 | 15.180 | 99.95 | |
| FZ-17b-2-2 | 64.633 | 0 | 18.188 | 0.014 | 0.006 | - | 0.387 | 0 | 0.410 | 15.891 | 99.53 | |
| FZ-1a-5-2 | 65.204 | 0.015 | 18.928 | 0.045 | 0.024 | - | 0.854 | 0 | 0.611 | 15.158 | 100.84 | |
| FZ-3a-2-3 | 65.556 | 0 | 18.216 | 0.048 | 0.022 | - | 0.159 | 0 | 0.375 | 15.740 | 100.12 | |
| FZ-8-2-3 | 64.990 | 0.017 | 18.308 | 0.018 | 0 | - | 0.341 | 0 | 1.317 | 15.830 | 100.82 | |
| JD-8-3-2 | 60.614 | 0.014 | 20.358 | 0 | 0.022 | - | 5.740 | 0.036 | 0.611 | 12.187 | 99.58 | |
| JD-8-3-3 | 64.415 | 0.049 | 18.937 | 0 | 0 | - | 1.940 | 0 | 0.563 | 14.730 | 100.63 | |
| JD-8-3-4 | 64.231 | 0 | 18.372 | 0.043 | 0 | - | 1.186 | 0 | 0.318 | 15.211 | 99.36 | |
| JD-8-3-5 | 60.305 | 0.075 | 20.486 | 0 | 0 | - | 7.107 | 0 | 0.509 | 11.677 | 100.16 | |
| FZ-13-2-7 | 67.877 | 0 | 20.498 | 0 | 0.014 | 0 | 0.019 | 0.147 | 10.794 | 0.109 | 99.46 | 钠长石 |
| FZ-15a-3-3 | 70.479 | 0.024 | 20.316 | 0.003 | 0.020 | 0.004 | 0.020 | 0.120 | 9.270 | 0.136 | 100.39 | |
| FZ-1a-4-4 | 68.074 | 0 | 19.961 | 0 | 0.030 | 0.001 | 0.031 | 0.094 | 11.052 | 0.423 | 99.67 | |
| FZ-5a-2-3 | 70.046 | 0.002 | 19.446 | 0 | 0 | 0 | 0.010 | 0.010 | 10.405 | 0.079 | 100.00 | |
| FZ-8-2-2 | 70.519 | 0.067 | 19.828 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.035 | 10.041 | 0.219 | 100.71 | |
| JD-8-3-7 | 68.427 | 0.004 | 20.233 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.020 | 10.583 | 0.066 | 99.34 | |

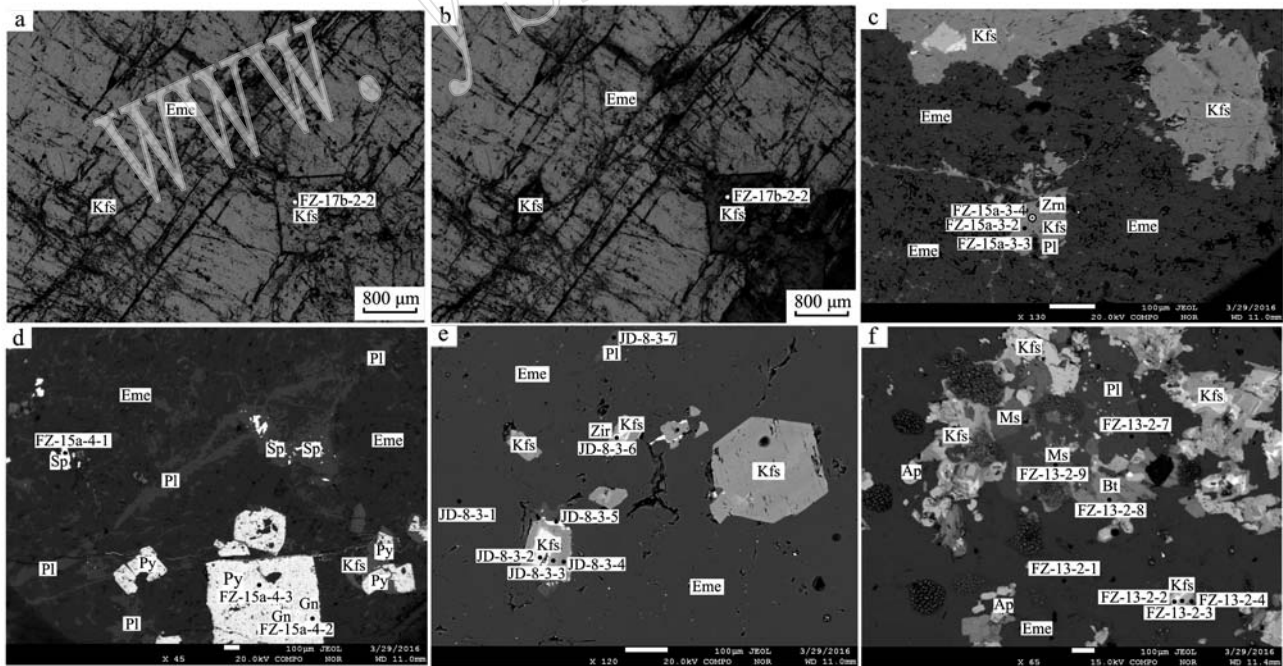


图3 样品 FZ17、FZ15、JD8 祖母绿中的包裹体照片

Fig. 3 Emerald inclusions in sample FZ17 FZ15 and JD8

a—FZ17 单偏光下照片; b—FZ17 正交偏光下照片; c, d—FZ15 的背散射(BSE)图像; e—JD8 钾长石环带背散射(BSE)图像; f—FZ13 钾长石环带背散射(BSE)图像

a—sample FZ17 under plainlight; b—sample FZ17 under crossed nicols; c—BSE photo of sample FZ15; d—BSE photo of sample FZ15; e—BSE photo of potassium feldspar zone in sample JD8; f—BSE photo of potassium feldspar zone in sample FZ13

(点 FZ-13-2-2~4)(图 3f)。对钾长石环带成分进行投点(图 4), 对应背散射图像, 环带核部呈白色, 幔部呈灰白色, 边部呈灰黑色, 个别钾长石边缘出现少量的亮白色区域, 但不形成环带。从核部到边部, Ba

含量减少, Al 减少, Si 升高, K 升高。环带的出现与其结晶时岩浆组成及其所处条件(如温度、压力、氧逸度和水逸度)有关(张峰等, 2009; 刘春花等, 2013), 并且揭示了云南祖母绿多期多阶段的生长环境变化。

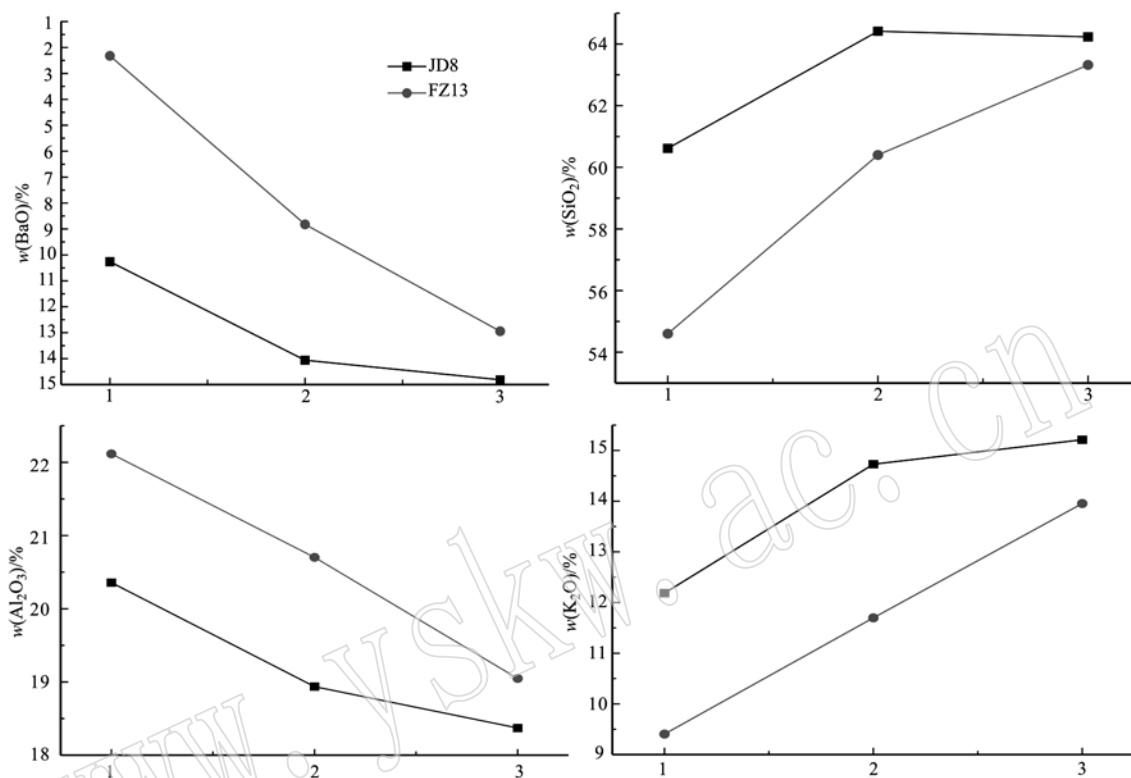


图 4 钾长石成分环带分析折线图(横坐标为核部-幔部-边部点号为 1、2、3)

Fig. 4 Line chart of potassium feldspar zone analysis(X-axis is core-mantle-edge; Dot mark is 1, 2 and 3)

2.2 电气石

偏光镜下, 顺层剪切带样品 FZ14 号祖母绿中的电气石包裹体呈红棕色-褐色, 多色性强, 柱状, 横截面为球面三角形, 有的横截面可见颜色环带环绕球面三角形断面分布(图 5a、5b)。阴极发光下不发光(图 2)。

电气石包裹体的成分见表 3, 结果表明, 云南祖母绿中的电气石包裹体为碱性电气石中的镁电气石(dravite), 且其成分中钒和铬含量偏高。

2.3 云母

祖母绿中的云母包裹体在偏光显微镜下观察为褐色, 多色性明显, 片状, 一组极完全解理, 阴极发光下不发光。黑云母受热液作用可蚀变为绿泥石、白云母等。顺层剪切带矿脉中黑云母粒度较小, 与绿色白云母混杂生长。

顺层剪切带样品 FZ1 号祖母绿中包含片状黑云母(图 6), 来自围岩云母片岩。

对黑云母进行成分分析见表 4。计算出阳离子数为: Si 2.915 9, Al^{IV} 1.084 1, Al^{VI} 0.324 7, Ti 0.035 2, Fe³⁺ 0.314 7, Fe²⁺ 0.558 2, Mn 0.035 5, Mg 1.374 3, Ca 0.001 0, Na 0.152 5, K 0.889 1, 合计 7.685 3。在三角图中进行投点, 结果表明, 云南祖母绿中所含黑云母包裹体为镁质黑云母(图 7)。黑云母来源是壳幔混源(图 8)(周作侠, 1986; 东前等, 2011)。

另外, FZ13 号伟晶岩脉中的祖母绿含有白云母包裹体(图 3f), 呈浅-深绿色, 细小的鳞片状。石英脉中祖母绿中包裹的绿色白云母含 V 相对较高(表 5)。

偏光显微镜下观察结合电子探针测试、阴极发光观察确定的包裹体除了钾长石、钠长石、镁电气石、黑云母、白云母之外, 还有方解石、萤石、石英、祖母绿、磷灰石(图 2、3f)、楣石(图 6)、锆石(图 3e)、绿帘石、白钨矿、黄铁矿(图 3d)、毒砂、闪锌矿(图

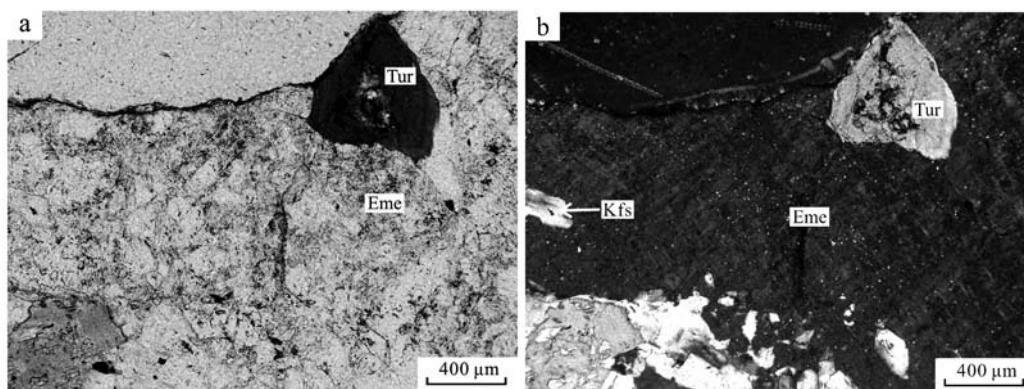


图5 样品 FZ14 祖母绿中的包裹体的单偏光(a)、正交偏光(b)照片

Fig. 5 Photos under plainlight(a) and crossed nicols(b) of emerald inclusions in sample FZ14

表3 电气石的电子探针结果

 $w_B/\%$

Table 3 Electron microprobe result of tourmaline

| 点号 | P ₂ O ₅ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | V ₂ O ₃ | FeO | ZnO | BaO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | F | Total |
|-----------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|-------|
| 7-Q3-1 | - | 37.113 | 0.165 | 31.096 | 0.114 | 1.73 | 6.651 | 0.057 | - | 0.089 | 7.109 | 0.957 | 2.239 | 0.018 | 0.595 | 87.93 |
| FZ-3a-5-3 | 0 | 36.97 | 0.126 | 31.221 | 0.055 | 0.443 | 7.098 | - | 0.072 | 0.088 | 5.185 | 0.105 | 2.235 | 0.111 | 0.341 | 84.05 |
| FZ-4a-5-1 | 0 | 37.653 | 0.394 | 29.126 | 0.136 | 1.112 | 8.118 | - | 0 | 0.106 | 6.062 | 0.306 | 2.008 | 0.037 | 0.564 | 85.62 |
| FZ-4a-5-3 | 0.013 | 36.669 | 0.074 | 30.899 | 0.009 | 0.818 | 7.935 | - | 0 | 0.047 | 4.733 | 0.08 | 1.848 | 0.034 | 0.409 | 83.57 |
| FZ-5a-1-2 | 0 | 38.15 | 0.08 | 31.694 | 0.036 | 0.301 | 7.515 | - | 0 | 0.122 | 5.546 | 0.127 | 2.017 | 0.045 | 0.105 | 85.74 |
| FZ-5a-3-3 | 0 | 38.027 | 0.311 | 29.451 | 0.005 | 0.259 | 6.589 | - | 0 | 0.103 | 7.186 | 0.305 | 2.088 | 0.092 | 0.722 | 85.14 |
| FZ-14-1-2 | 0.018 | 37.346 | 0.218 | 30.957 | 0.027 | 0.29 | 7.551 | - | 0 | 0.132 | 6.76 | 0.199 | 2.151 | 0.034 | 1.082 | 86.77 |

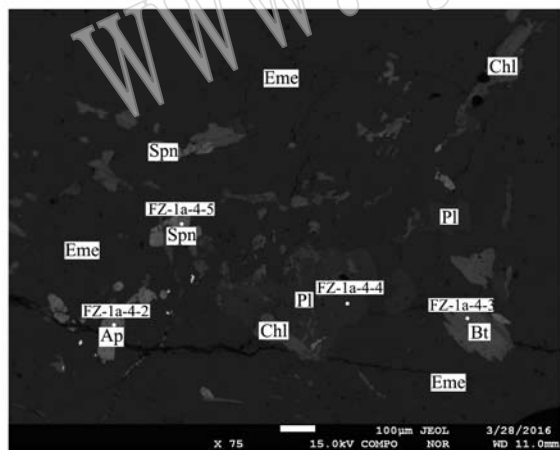


图6 样品 FZ1 的背散射(BSE)图像

Fig. 6 BSE photo of sample FZ1

3d)、方铅矿(图3d)、透辉石、绿泥石(图6)。伟晶岩脉和顺层剪切带中的祖母绿均含有钾长石、钠长

石、电气石、萤石、祖母绿(绿柱石)、黑云母、榍石、磷灰石、黄铁矿、绿泥石、绿帘石包裹体。白云母、方解石、石英、锆石、毒砂、闪锌矿、方铅矿、透辉石仅出现在伟晶岩脉中的祖母绿包裹体中;而白钨矿仅出现在顺层剪切带中的祖母绿包裹体中。将云南祖母绿中所含矿物包裹体按祖母绿产状总结如表6。

3 结论

(1) 云南麻栗坡祖母绿中常见的矿物包裹体有钾长石、钠长石、方解石、萤石、电气石、石英、祖母绿(绿柱石)、黑云母、白云母、白钨矿;围岩和矿脉中的副矿物磷灰石、榍石、锆石也会包裹在祖母绿中;有时含有金属矿物包裹体黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿;透辉石包裹体仅出现在伟晶岩脉祖母绿样品中;偶见绿泥石包裹体,均为其他矿物包裹体绿泥

表4 黑云母的电子探针分析

 $w_B/\%$

Table 4 Electron microprobe analysis of biotite

| 点号 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | F | Total |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------------------|------------------|-------|--------|
| FZ-1a-4-3 | 39.846 | 0.639 | 16.335 | 14.263 | 0.573 | 12.598 | 0.013 | 1.075 | 9.524 | 1.556 | 96.422 |

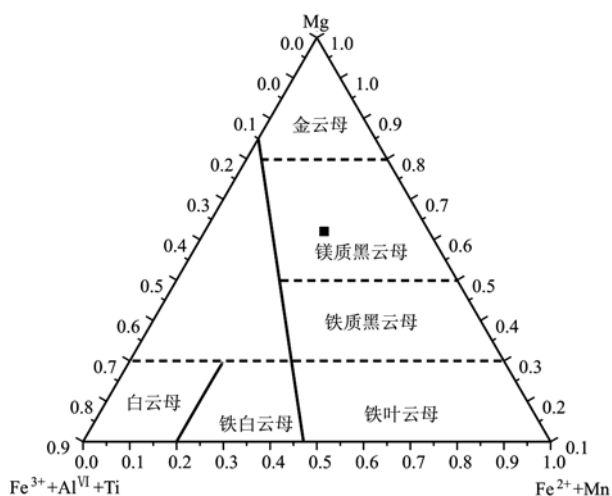


图 7 黑云母分类投点图(底图据 Foster, 1960)
Fig. 7 Biotite classification scatter diagram
(the base map is according to Foster, 1960)

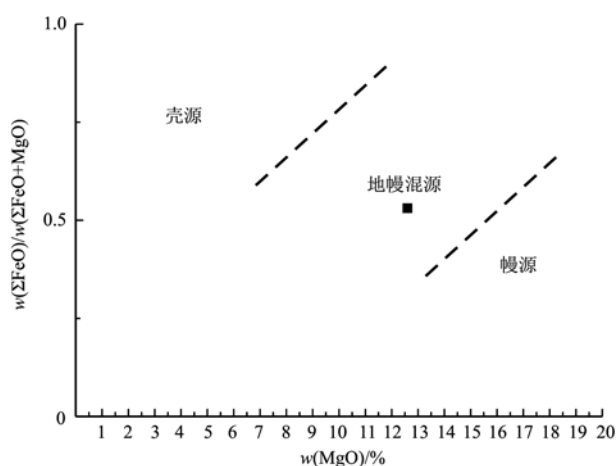


图 8 黑云母来源投点图(底图据周作侠, 1986)
Fig. 8 Source of biotite scatter diagram
(the base map is according to Zhou Zuoxia, 1986)

表 5 白云母的电子探针结果

$w_B/\%$

Table 5 Electron microprobe result of muscovite

| 点号 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | V ₂ O ₃ | FeO | BaO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | F | Total |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|--------|
| FZ-13-2-9 | 50.308 | 30.883 | 0.113 | 0.524 | 1.273 | 0.532 | 2.866 | 0.029 | 0.227 | 9.61 | 0.828 | 97.193 |

表 6 伟晶岩脉和顺层剪切带中祖母绿中的包裹体

Table 6 Emerald inclusions in pegmatite veins and shear zone veins

| 祖母绿的产状 | 伟晶岩脉 | 顺层剪切带 |
|----------|---|--|
| 祖母绿中的包裹体 | 钾长石、钠长石、电气石、萤石、祖母绿(绿柱石)、黑云母、榍石、磷灰石、黄铁矿、绿泥石、绿帘石、白云母、方解石、石英、锆石、毒砂、闪锌矿、方铅矿、透辉石 | 钾长石、钠长石、电气石、萤石、祖母绿(绿柱石)、黑云母、榍石、磷灰石、黄铁矿、绿泥石、绿帘石、白钨矿 |

石化产生。

(2) 云南麻栗坡祖母绿具有产地特征的包裹体有黑色镁电气石、含钒的白云母、具有环带的钾长石、毒砂、镁质黑云母、白钨矿。

(3) 伟晶岩脉和顺层剪切带中的祖母绿均含有钾长石、钠长石、电气石、萤石、祖母绿(绿柱石)、黑云母、榍石、磷灰石、黄铁矿、绿泥石、绿帘石包裹体。白云母、方解石、石英、锆石、毒砂、闪锌矿、方铅矿、透辉石仅出现在伟晶岩脉中的祖母绿包裹体中；而白钨矿仅出现在顺层剪切带中的祖母绿包裹体中。

(4) 祖母绿中钾长石包裹体环带从核部到边部, Ba 含量减少, Al 减少, Si 升高, K 升高。环带的出现与其结晶时岩浆组成及其所处条件(如温度、压力、氧逸度和水逸度)有关。并且揭示了云南祖母绿多期多阶段的生长环境变化。

(5) 黑云母是各产地祖母绿中最常见的包裹体之一。云南麻栗坡祖母绿中的黑云母包裹体为镁质黑云母, 其来源是壳幔混源。

References

Chang Lihua. 2006. Transparent Mineral Slice Identification Manuals [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
Dong Qian, Du Yangsong, Cao Yi, et al. 2011. Compositional characteristics of biotites in Wushan granodiorite, Jiangxi province: Implications for petrogenesis and mineralization[J]. Journal of Mineral and Petrology, 31(2): 1~6(in Chinese).
Feng Minggang, Zhang Shitao, Lü Wei. 2000. The characteristics and prospecting direction of the emerald deposit in China[J]. Yunnan Geology, 19(1): 37~42(in Chinese).

- Hu Rongrong. 2008. Study on Mineralization Geological Background and Mineralization Model of Emerald Deposits in Yunnan Province[D]. Kunming university of science and technology (in Chinese).
- Jiang Xue, Yu Xiaoyan, Guo Bijun, *et al.* 2015. The study on color bands in emerald crystals from Yunnan Province, China[A]. *Gemology & Technology*[C]. Beijing: Geological Publishing House, 88 ~ 93(in Chinese).
- Li Qiang. 2001. Gemmological characters of Malipo emerald from Yunnan province[J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 3(2): 11 ~ 14(in Chinese).
- Liu Chunhua, Wu Cailai, Lei Min, *et al.* 2013. The characteristics of microstructure and chemical compositions of K-feldspar, sphene and zircon with zoning structure[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 33(8): 2 235 ~ 2 241(in Chinese).
- Xue G, Marshall D, Zhang S, *et al.* 2010. Conditions for Early Cretaceous emerald formation at Dyakou, China: fluid inclusion, Ar-Ar, and stable isotope studies[J]. *Economic Geology*, 105(2): 339 ~ 349.
- Zhang Feng, Wang Genhou and An Ran. 2009. Characteristics of giant annulus stripe K-feldspar phenocryst of Gangtangeuo granitic pluton in central Qiangtang, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1 309 ~ 1 318(in Chinese).
- Zheng Yuyu, Yu Xiaoyan, Jiang Xue, *et al.* 2017. Gemmological and spectral characteristics of emerald from Yunnan, China[A]. *Gemology & Technology*[C]. Beijing: Geological Publishing House, 90 ~ 94(in Chinese).
- Zhou Zuoxia. 1986. The origin of intrusive mass in Fengshandong, Hubei province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2(1): 59 ~ 70(in Chinese).
- Zu Endong, Zhang Pengxiang and Zhang Yan. 1999. The raman spectroscopy of inclusions of emerald in Yunnan[J]. *Chinese Journal of Light Scattering*, 11(3): 243 ~ 247(in Chinese).
- 常丽华. 2006. 透明矿物薄片鉴定手册[M]. 北京: 地质出版社.
- 东 前, 杜杨松, 曹 毅, 等. 2011. 江西武山花岗岩闪长斑岩中黑云母成分特征及其成岩成矿意义[J]. *矿物岩石*, 31(2): 1 ~ 6.
- 冯明刚, 张世涛, 吕 伟. 2000. 中国祖母绿矿床特征及其找矿方向[J]. *云南地质*, 19(1): 37 ~ 42.
- 胡荣荣. 2008. 云南麻栗坡祖母绿矿床成矿地质背景及成矿模式研究[D]. 昆明理工大学.
- 姜 雪, 余晓艳, 郭碧君, 等. 2015. 云南祖母绿颜色环带研究[A]. *中国珠宝首饰学术交流会论文集*[C]. 北京: 地质出版社, 88 ~ 93.
- 李 强. 2001. 云南麻栗坡祖母绿的宝石学特征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 3(2): 11 ~ 14.
- 刘春花, 吴才来, 雷 敏, 等. 2013. 环带钾长石、榍石和锆石的显微结构与微区组成特征分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 33(8): 2 235 ~ 2 241.
- 张 锋, 王根厚, 安 然. 2009. 藏北羌塘中部冈塘错花岗岩体中环带条纹钾长石巨斑晶的特征[J]. *地质通报*, 28(9): 1 309 ~ 1 318.
- 郑育宇, 余晓艳, 姜 雪, 等. 2017. 云南祖母绿的宝石学及谱学特征研究[A]. *中国国际珠宝首饰学术交流会论文集*[C]. 北京: 地质出版社, 90 ~ 94.
- 周作侠. 1986. 湖北丰山洞岩体成因探讨[J]. *岩石学报*, 2(1): 59 ~ 70.
- 祖恩东, 张鹏翔, 张 燕. 1999. 云南祖母绿中包裹体的拉曼测量[J]. *光散射学报*, 11(3): 243 ~ 247.

附中文参考文献